

## **Oberflächenstrukturen zur Reibungs- und Verschleißreduzierung von Kunststoff-Kunststoff-Reibpaarungen in Förderanlagen**

Erschienen im Tagungsband I zur 52. Tribologie-Fachtagung, ISBN 978-3-00-035439-7, Göttingen 2011

Autoren: Dipl.-Ing. Arndt Schumann, TriboPlast  
Dr.- Ing. Jens Sumpf, TU-Chemnitz  
Dipl.-Ing. Sebastian Weise, TriboPlast  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Nendel, TU-Chemnitz

### **Abstract**

Motiviert durch anwendungstechnische Problemstellungen, wie z. B. dem Energiebedarf von Stetigförderern mit gleitend abgestützten Zug- und Tragmitteln, beschäftigt sich die Professur Fördertechnik der Technischen Universität Chemnitz seit mehr als einem Jahrzehnt mit der Optimierung von schmierungsfreien Kunststoff-Kunststoff-Reibpaarungen. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden und werden unter anderem die Auswirkungen von Modifikationen, Additiven und Beschichtungen auf die tribologischen Eigenschaften von Kunststoffen untersucht. Zur Charakterisierung des Reibungs- und Verschleißverhaltens kommen eigens entwickelte Prüfstände zum Einsatz, die linear oszillierend nach dem Prinzip „Platte auf Platte“ arbeiten. Die Zielstellung eines aktuellen Forschungsprojektes liegt in der Verbesserung der tribologischen Eigenschaften von Kunststoffen durch die Strukturierung der Wirkflächen. Bisher erfolgte in diesem Zusammenhang die Untersuchung der Reibpaarungen Polyacetal (POM) gegen Polyethylen-ultrahochmolekular-antistatisch (PE-UHMW) sowie Polyacetal gegen Polyamid (PA 6.6). Bei beiden Kombinationen wurde die Reibfläche des Polyacetals strukturiert. Die Ergebnisse der Tribotests über 24 und 168 Stunden zeigen, dass durch geometrische Oberflächenmodifikationen enorme Reduzierungen des Gleitreibwertes sowie Verbesserungen des Verschleißverhaltens erreicht werden.

Challenged by application-technological problems, such as the energy-demand of conveyor systems with sliding chains or belts, the professorship of materials handling at the Chemnitz University of Technology works on tribological aspects of conveyor systems for more than a decade now. The goals in doing so always are minimization of friction coefficients and reduction of appearing wear. The analysis of lubrication-free plastic-on-plastic pairings has been in the focus for a long time. Effects of modifications, additive agents and coatings on the tribological features of plastics are analysed within the research work.

To characterize the friction and wear properties, a specially developed test bench is used. It works according to the plate-on-plate principle and has a linear oscillating movement. A current project will optimize the tribological features by texturing the surface of the friction partners. In this context the plastics PE-UHMW-antistatic, PA6.6 and POM-H were tested under short (24 h) and long (168 h) duration. Only the samples made from POM-H have the texturing. The results of the friction tests show that the use of textured POM-H moved against PE-UHMW-antistatic and against PA6.6 reduce friction and wear enormously.

### Einführung / Systemanalyse

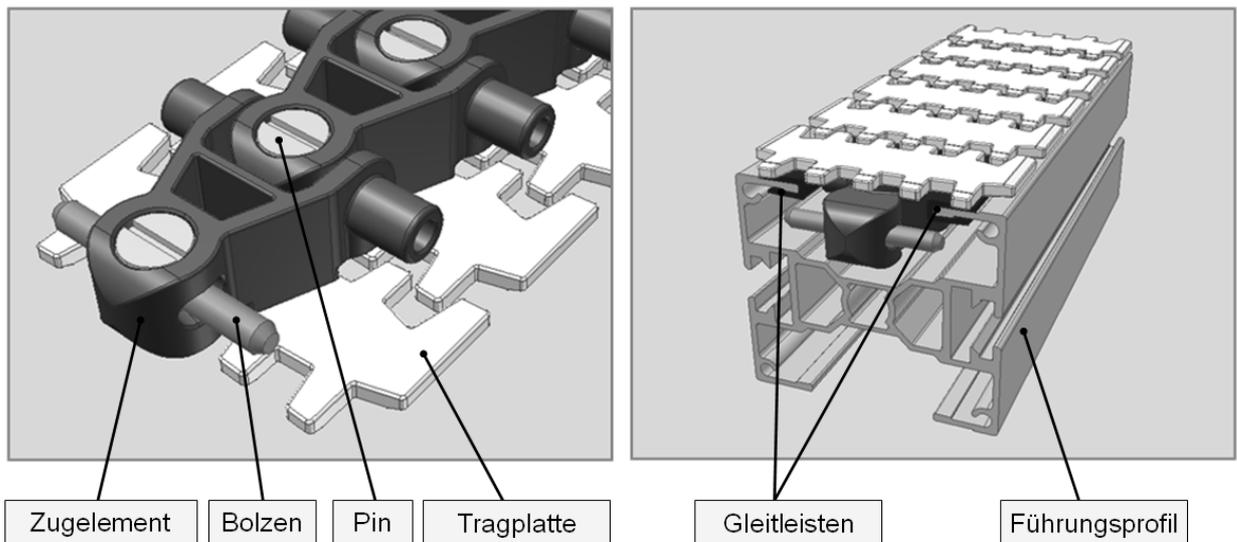


Abbildung 1: Aufbau einer Kunststoffgleitkette und Kette im Führungsprofil

In der industriellen Produktion wird der Materialfluss, z. B. bei der Verkettung von Maschinen, häufig durch Stetigförderer mit umlaufenden Zug- und Tragmitteln realisiert. Unter anderem kommen dabei Gurtbandförderer, Zahnriemenförderer oder verschiedene Kettenförderer zum Einsatz. Beispielhaft für diese Förderanlagen wurde ein Kunststoff-Gleitkettenförderer zur technisch-physikalischen Weiterentwicklung der Zug- und Tragmittel ausgewählt.

Hauptelement eines solchen Förderers ist eine Kette, deren einzelne Glieder aus Kunststoff bestehen und die mittels kardanischer Gelenke raumbeweglich miteinander verbunden sind. Abbildung 1 zeigt eine solche Kette in ihrem metallenen Führungsprofil mit Gleitleisten, auf welche sich die Kette und das darauf befindliche Fördergut gleitend abstützen.

Die Kette wird durch ein Kettenrad formschlüssig angetrieben und muss z. T. sehr hohe Zugkräfte übertragen, welche aus der Bewegungsreibung an verschiedensten Wirkstellen entstehen (vgl. [1]). Außer dem Kontakt „Pin – Bolzen“ stellen alle Paarungen des Förderers (siehe Abbildung 2) Kunststoff-Kunststoff-Tribosysteme dar.

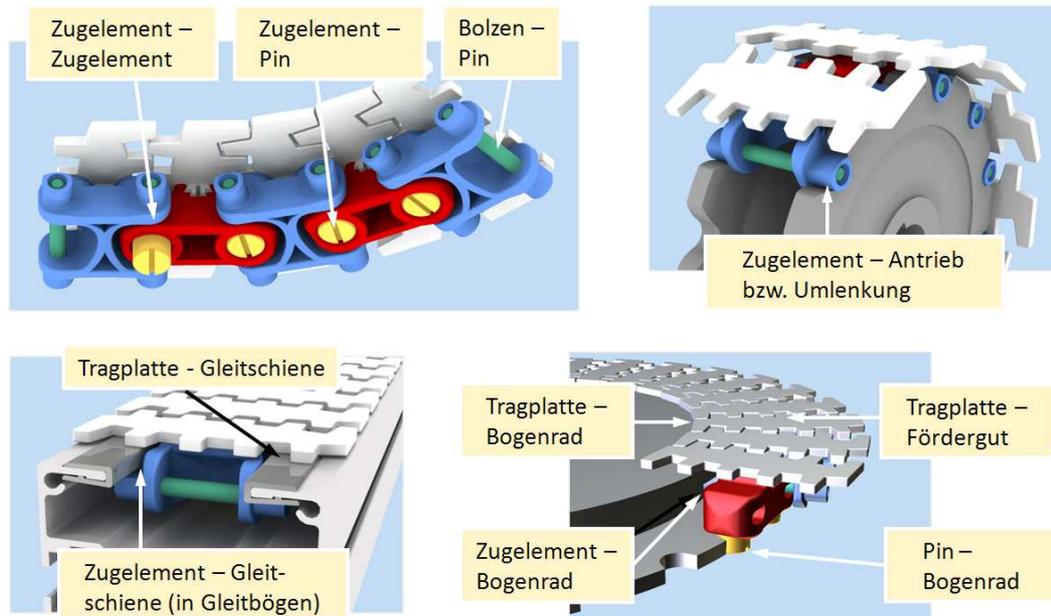


Abbildung 2: Reibstellen an einem Kunststoffgleitkettenförderer

Die Höhe der wirkenden Zugkräfte ist durch die mechanischen Eigenschaften der verwendeten Kunststoffe – z. B. des Standardmaterials POM – bestimmt und wird von vielen Kettenherstellern auf ca. 1250N bei geradem Förderlayout begrenzt [2]. Diese Grenze hat u.a. zur Folge, dass lange Förderstrecken durch mehrere, hintereinander angeordnete Förderer realisiert werden müssen. Außerdem führen ungünstige Reibungs- und Verschleißigenschaften zu vermehrtem Abrieb, Stick-Slip-Effekten bei der Bewegung und zu unerwünschter Geräuschbildung.

### Motivation

Das Erreichen günstiger tribologischer Eigenschaften, d.h. Minimierung der Reibwerte zwischen allen relativ zueinander bewegten Bauelementen und Verringerung des auftretenden Verschleißes, steht im Fokus aktueller Forschungsarbeiten. Mögliche Eigenschaftsverbesserungen sind u.a.:

- geringerer Bedarf an Antriebsenergie wegen verringerter Kettenzugkraft,
- sicherer Guttransport durch Verminderung des Stick-Slip-Verhaltens,
- längerer Lebensdauer der Förderketten durch weniger Abrieb,
- Einsparen von Antriebsmotoren und Steuerungstechnik durch die Realisierung längerer Förderstrecken mit einem Antrieb,
- Verminderung des Schalldruckpegels im Anlagenbetrieb,
- erhöhte Ressourceneffizienz durch höhere Standzeiten der Bauelemente (z.B. Gleitleisten).

Die bezüglich des Kunststoffgleitkettenförderers gewonnenen Erkenntnisse können auch auf andere technische Wirkpaarungen mit Kunststoff-Kunststoff-Material-paarungen übertragen

werden. Damit kann ein wesentlicher Beitrag zur Nutzung von Energieeffizienz- und Ressourceneffizienz-Potentialen, besonders in der Intralogistik, aber auch in vielen anderen Teilgebieten des Maschinen- und Anlagenbaus, geleistet werden.

## **Prüftechnik**

### ***Stand der Technik***

Bei der Untersuchung spezieller technischer Systeme ist das Modellprüfsystem so zu wählen, dass die auftretenden Belastungs- und Umgebungsbedingungen möglichst praxisnah nachgebildet werden können. Aus dem vorliegenden Beispiel der Gleitkettenförderer lassen sich daher folgende Anforderungen an das Prüfsystem ableiten:

- trockenlaufende Materialpaarung mit Kunststoffbeteiligung
- relativ große Kontaktflächen (>100 mm<sup>2</sup>), Flächenpressung meist unter 1 N/mm<sup>2</sup>
- Gleitgeschwindigkeiten bis max. 1,5 m/s (meist 0,5 m/s)
- starke Wechselwirkung zwischen der Kontaktflächentemperatur und dem Reibverhalten

Außerdem ist die Forderung zu berücksichtigen, dass die Probekörper geometrisch variabel und möglichst einfach herstellbar sind, und zwar in dem Fertigungsverfahren, welches auch für die Förderer-Bauteile in der Praxis verwendet wird. Der Hintergrund dafür liegt in der Tatsache, dass sich die Eigenschaften von z. B. spritzgegossenen, extrudierten oder mechanisch bearbeiteten Oberflächen stark unterscheiden und deshalb nur so eine effiziente und zugleich zuverlässige Materialentwicklung möglich ist.

Aus der Literatur (z.B. [3]) sind zahlreiche, zum Teil normierte, tribologische Prüfmethoden bekannt. Viele dieser Methoden finden Verwendung bei Metall-Metall-Materialpaarungen und sind deshalb für die reine Kunststoff-Tribologie ungeeignet. Häufig weisen sie nur kleine oder auf kleine Flächen begrenzte Relativbewegungen auf. Dies würde zum einen zum Aufschmelzen der beteiligten Kunststoffe führen und bildet zum anderen auch die großen Reibwege, wie sie in Förderanlagen auftreten, nur ungenügend ab.

### ***Prüfprinzip***

Entschieden wurde sich für ein oszillierendes Prüfprinzip „Platte auf Platte“, welches die oben beschriebenen Anforderungen erfüllt. Der Hauptnachteil gegenüber einer kontinuierlichen Bewegung ist die, infolge der ständigen Anfahr- und Bremsvorgänge, begrenzte Geschwindigkeit, welche jedoch durch eine Verlängerung des Gleitweges praxisrelevante Größen erreicht.

Im entwickelten Prüfprinzip (Abbildung 3) wird die oszillierende Bewegung über einen Schubkurbelantrieb oder einen Linearmotor erreicht. Die Reibgeschwindigkeit kann dabei stufenlos von 0m/s bis 2m/s eingestellt werden. Die bewegte Oberprobe (ca. 15x15 mm) wird über Federkraft auf die Unterprobe (ca. 20 x 100...600 mm) gepresst, welche auf einem Messtisch aufgespannt ist. Dieser Tisch, das Herzstück des Prüfprinzips, ist über senkrecht angeordnete Fe-

derbleche mit dem Gestell verbunden. Die Reibkraft zwischen Ober- und Unterprobe führt zur Auslenkung des Tisches, wobei sich die über einen Wegsensor erfasste Tischbewegung im Messbereich proportional zur Reibkraft verhält.

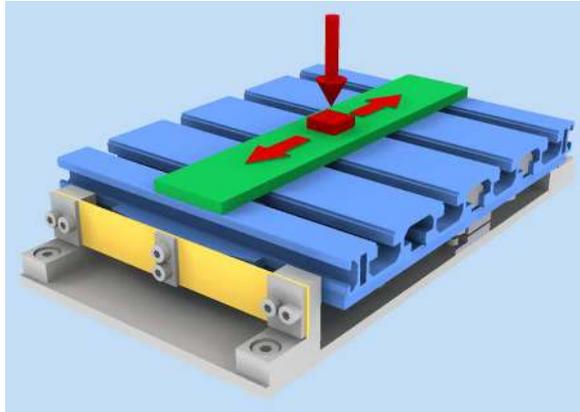


Abbildung 3: Aufbau der Prüfanordnung

Die Auswertung der Versuche erfolgt über die an der Professur Fördertechnik entwickelte Messsoftware „TriboTest“, mit welcher Normalkraft, Reibkraft und Temperatur erfasst und aufgezeichnet werden können. Um den Reibwert zu bestimmen, werden Messwerte über etwa drei bis fünf komplette Bewegungsperioden eingelesen. Ein wichtiger Schritt ist die anschließende Filterung der Werte, da die Bewegung nahe den Umlenkstellen durch die Richtungswechsel sowie das Anfahren und Bremsen beeinflusst wird und die Daten deshalb nicht verwendet werden können (Abbildung 4).

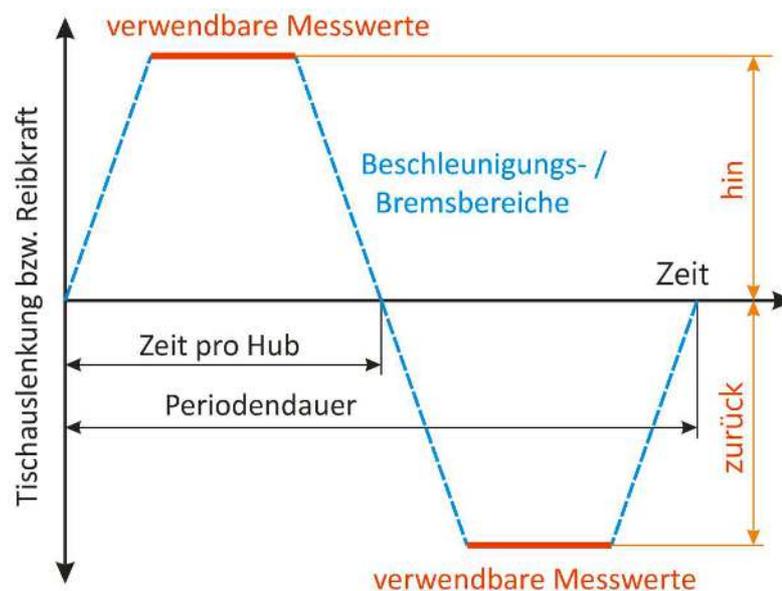


Abbildung 4: Funktionsprinzip der oszillierenden Reibwertmessung

## Prüfergebnisse

### Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung muss auf die besonderen Charakteristika von Kunststoff-Tribosystemen eingegangen werden. Die wichtigsten Punkte sind im Folgenden aufgeführt:

### Einlaufverhalten

Der Reibwert von trockenlaufenden Kunststoffgleitpaarungen zeigt über der Versuchsdauer ein typisches Einlaufverhalten, welches durch einen relativ geringen Startwert mit darauf folgendem Anstieg in den nächsten Minuten bis Stunden gekennzeichnet ist. Der weitere Reibwertverlauf ist stark systemabhängig und kann innerhalb weniger Stunden einen weitestgehend stationären Endwert erreichen, aber auch über mehrere Tage kontinuierlich ansteigen oder relativ starken Schwankungen unterworfen sein.

Bei unbekanntem Reibpaarungen wird demnach zunächst eine Untersuchung über mehrere Tage empfohlen. In den meisten Fällen geht aus diesen Tests hervor, dass bei einer Versuchsdauer von 24 Stunden ein guter Kompromiss zwischen dem Versuchsaufwand und einem zuverlässigen Testergebnis besteht.

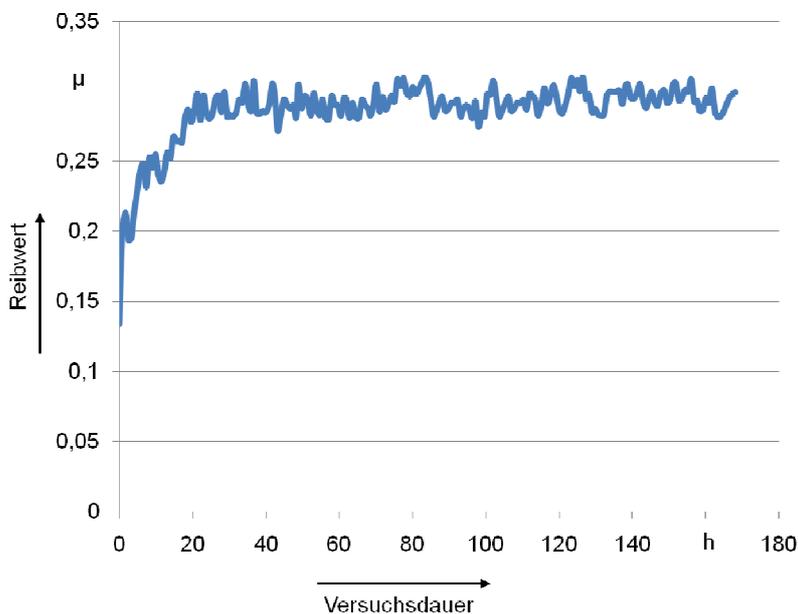


Abbildung 5: Verlauf des Reibwertes für die Gleitpaarung POM gegen PE; Prüfprinzip „Platte auf Platte“: theoretische Kontaktfläche=225mm<sup>2</sup>, F<sub>n</sub>=50N, v=0,25m/s, t=168h, H=100mm

**Einfluss von Normalkraft und Reibgeschwindigkeit**

Der gemessene Reibwert und auch der Verlauf der Reibwertkurve sind mitunter sehr stark von der Flächenpressung und der Reibgeschwindigkeit abhängig. Die folgende Abbildung 6 verdeutlicht dies. Bei der Zusammenstellung des Versuchsprogrammes ist deshalb besonderes Augenmerk auf die Wahl dieser Parameter zu legen. p-v-Diagramme sind immer mehrfach – in Abhängigkeit der Normalkraft und in Abhängigkeit der Geschwindigkeit – zu erstellen.

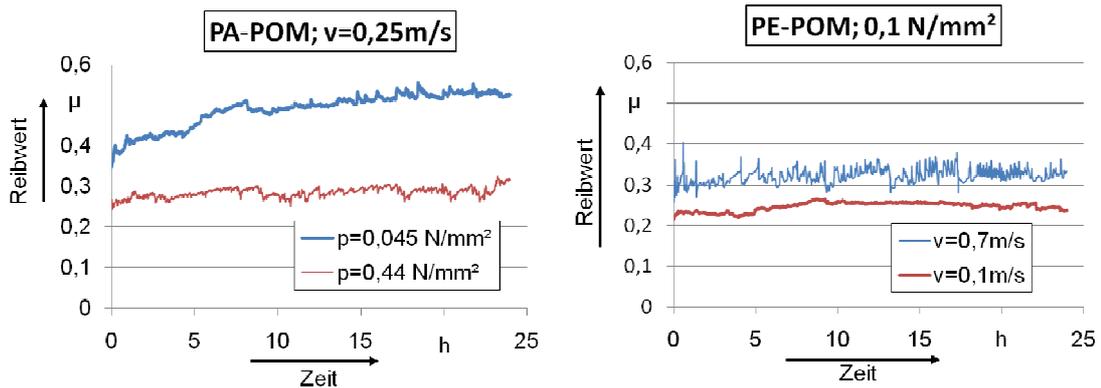


Abbildung 6: Reibwertverläufe unter Variation der theoretischen Flächenpressung (links) und unter Variation der Reibgeschwindigkeit (rechts)

**Zusammenhang „Reibwert – Temperatur“**

Mit Hilfe der beschriebenen Versuchstechnik ist es auch möglich, die entstehende Temperatur direkt in der Reibstelle zu messen. Abbildung 7 zeigt eine Reibwertkurve und die, parallel dazu aufgenommen, Kurve der Kontaktflächentemperatur. Es ist gut zu erkennen, dass beide Kurven einen ähnlichen Verlauf aufweisen. Auch Unstetigkeiten im Verlauf der Reibwertkurve lassen sich durch den gemessenen Temperaturverlauf gut erklären. Dieses Verhalten liegt möglicherweise an der Wirkung von Verschleißpartikeln in der Reibstelle.

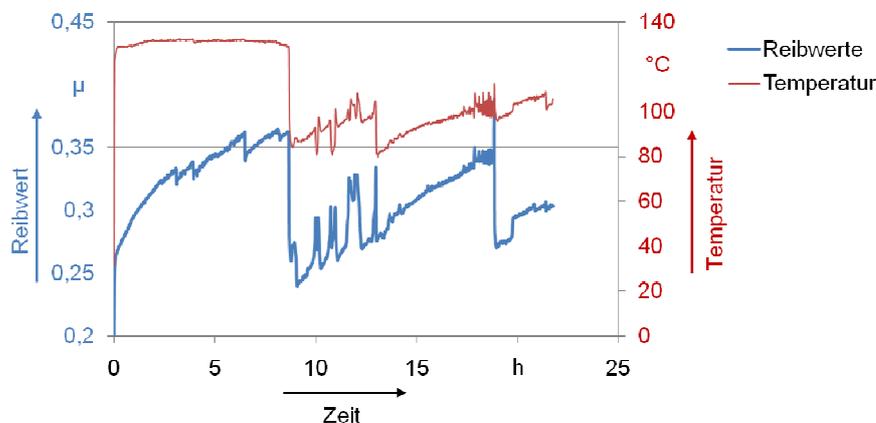


Abbildung 7: Reibwert- und Temperaturverlauf der Reibpaarung DLC-Beschichtung gegen PE; „Platte auf Platte“ - Prüfprinzip: theoretische Kontaktfläche=225mm², F<sub>N</sub>=50N, v=0,25m/s, t=24h, Hub=100mm

## Versuchsauswertung

### **Reibwertkurven, Reibwert**

Ergebnis der Untersuchungen ist in erster Linie eine, über die Versuchsdauer aufgezeichnete, Reibwertkurve (vgl. Abbildung 6). Aus ihr wird nun der Reibwert der getesteten Materialpaarung bestimmt. Wegen des schon beschriebenen Einlaufverhaltens wird dazu das arithmetische Mittel der gemessenen Reibwerte der letzten beiden Versuchsstunden, also zwischen 22h und 24h, gebildet.

### **Verschleißbeurteilung**

Für die Charakterisierung von Gleitpaarungen sowie die Materialentwicklung ist der Reibwert allein nicht ausreichend. Es kann z. B. oft beobachtet werden, dass trotz gutem Gleitvermögen ein relativ starker Verschleißabrieb vorliegt.

Bekannte Methoden zur Quantifizierung des Verschleißes, z. B. Masseverlust oder Messverfahren zur Bestimmung des Verschleißvolumens, sind jedoch im betrachteten Prüfsystem nicht bzw. nur mit unzureichender Genauigkeit anwendbar. Polymerspezifische Gründe dafür sind u. a. Messfehler durch Feuchtigkeitsaufnahme oder Kriechvorgänge, die häufig größer sind als der oft minimale, kaum erkennbare Verschleiß der Proben.

Wie vergleichende Untersuchungen mit einem Messmikroskop zeigten, kann der Verschleiß in sehr guter Näherung mit Hilfe eines subjektiven Bewertungsverfahrens beurteilt werden. Dazu wird ein Verschleißkennwert „KV“ ermittelt, der die Abriebmenge sowie die Verschleißspuren an Unter- und Oberprobe in einem Wertebereich von null bis vier nach Tabelle 1 und nach entsprechenden Bildvorlagen kennzeichnet.

Tabelle 1: Verschleißbewertungssystem (ggf. auch Zwischenstufen)

0	1	2	3	4
keine sichtbare Veränderung gegenüber einer neuen Fläche	sehr geringer Abrieb, geringe Einlaufspuren bzw. Kratzer	Abriebpartikel und deutlich sichtbare Einlaufspuren oder Oberflächenveränderungen	sehr starker Abrieb, starke Einlaufspuren oder Oberflächenveränderungen	verschleißbedingter Abbruch des Versuchs vor dem geplanten Ende

**Tribo-Kennwert**

Aus dem gemessenen Reibwert sowie dem bestimmten Verschleißkennwert am Ende der Prüfperiode (standardmäßig nach 24 Stunden) kann nach

$$KT = \mu + (KV \text{ Probe 1} + KV \text{ Probe 2}) / 10$$

ein Tribo-Kennwert „KT“ berechnet werden, welcher den direkten Vergleich und die Bewertung von Materialpaarungen hinsichtlich der stets gemeinsam zu betrachtenden tribologischen Effekte ermöglicht. In detaillierten (Abbildung 8) oder vergleichenden grafischen bzw. tabellarischen Darstellungen können damit die relevanten Ergebnisse sowohl einzeln hinsichtlich Reibung und / oder Verschleiß als auch gesamttribologisch analysiert werden.

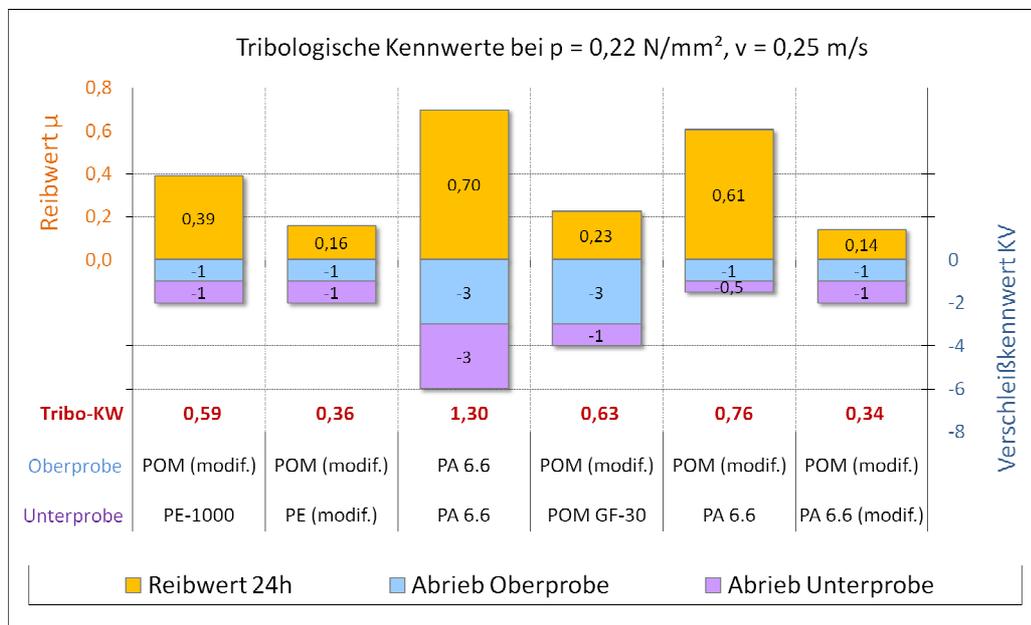


Abbildung 8: Detaillierte Darstellung der Tribo-Kennwerte; positiv: Reibwert (orange), negativ: Verschleißkennwerte KV, Gesamtbalken: Tribo-Kennwert KT

**Verbesserung der Reibeigenschaften durch Oberflächenstrukturierung**

Der Energiebedarf von Förderanlagen mit Gleitketten aus Kunststoff wird wesentlich durch das tribologische System Gleitkette-Gleitschiene bestimmt. Forschungsaktivitäten zur Optimierung dieses Systems konzentrieren sich bis dato auf die Einarbeitung von flüssigen und festen Schmierstoffen in die Polymerwerkstoffe bzw. auf die chemische Anbindung von Gleitadditiven. Beispiele für derartige Zusatzstoffe sind Silikonöle [3], Polytetrafluorethylen [3], Graphit oder Molybdändisulfid [4], die jedoch die Festigkeit und Steifigkeit des Kunststoffs reduzieren [5]. Derzeit wird an der Professur Fördertechnik der Technischen Universität Chemnitz an einem Kooperationsprojekt gearbeitet, das sich der Strukturierung der Reibfläche eines Reibpartners

widmet, um die tribologischen Eigenschaften zu verbessern. Die Formgebung der Oberfläche muss dabei kostengünstig durch Spritzgießen erfolgen. Auf reibungsreduzierende Zusatzstoffe wird verzichtet. Die Vorteile gegenüber dem Einsatz von Gleitzusätzen liegen auf der Hand. Eine Reduzierung der mechanischen Eigenschaften wird vermieden. Die Kosten für Zusatzstoffe und die physikalische oder chemische Einbindung in die Polymermatrix entfallen.

Angeregt wurde dieses Projekt durch die Tatsache, dass die Reibungs- und Verschleiß-eigenschaften auf adhäsive und deformative Reibungsbedingungen zurückzuführen sind [5]. Diese Reibungsbedingungen treten in Kombination auf, variieren jedoch in der Größe des jeweiligen Anteils [5]. Adhäsive Reibung resultiert aus der Anziehung der aufeinander gleitenden Körper in den Bereichen der realen Kontaktfläche bzw. bei ausreichender Annäherung der Reibflächen [5]. Die Höhe der daraus resultierenden atomaren und molekularen Wechselwirkungen ist auf die Oberflächenenergie der Reibpartner zurückzuführen. Kunststoffe mit hoher Oberflächenenergie werden als polar, solche mit geringer Oberflächenenergie als unpolar klassifiziert [5].

Deformative Reibungsbedingungen treten vor allem zwischen rauen harten und weniger harten Reibflächen auf. Dann dringen die harten Rauheitsspitzen in den Gegenkörper ein, was zu Verformungen führt. Beim Aufeinandergleiten der Körper wirken die zur Verformung notwendigen Kräfte bewegungshemmend. [5]

Zur Reduzierung der deformativen Reibungsanteile sind glatte und harte Körper zu bevorzugen. Was im Falle polarer Kunststoffe den adhäsiven Reibanteil erhöht. [6]

Aus einer Reihe von Literaturquellen geht hervor, dass bei der Reibpaarung Kunststoff-Stahl die Reibungseigenschaften von der Rauheit der Stahloberfläche abhängt. Die raue Stahloberfläche bewirkt zum einen die Reduzierung der realen Kontaktfläche und damit bei polaren Kunststoffen die Verminderung des adhäsiven Reibanteils, zum anderen kann es zur Ansammlung von Verschleißpartikeln in den Rauheitstälern und damit zu einer reibungsmindernden Transferschicht oder reibungsmindernden Verschleißpartikeln kommen. [5], [6]

Die Wirkung der adhäsiven Reibung kann auch mit Versuchen bei verschiedenen Flächenpressungen nachgewiesen werden. So zeigen polare Gleitpartner bei ansteigender Flächenpressung sinkende Reibungszahlen, während Gleitpartner mit wenigstens einem unpolaren Körper steigende Reibungszahlen aufweisen. [5]

Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, dass sich bei steigender Normalkraftbelastung die reale Kontaktfläche einem Maximum annähert. Wird die Normalkraft dann weiter erhöht, nimmt die reale Kontaktfläche nicht mehr oder nur unwesentlich zu. Der adhäsive Reibungsanteil steigt somit nicht weiter. Das Diagramm 1 zeigt das Reibungsverhalten zwischen den polaren Kunststoffen PA 6.6 gegen POM-H in Abhängigkeit von der Flächenpressung. Im Diagramm 2

ist dagegen das tribologische Verhalten zwischen dem unpolaren PE-UHMW-antistatisch und dem polaren POM-H dargestellt.

Aus dem oben beschriebenen Kenntnisstand lassen sich für die Gestaltung reibungsreduzierender Strukturen folgende Anregungen ableiten: Raue Oberflächen bewirken bei polaren Reibpartnern die Reduzierung der Kontaktfläche. Um zu verhindern, dass starker Verschleiß auftritt, sollte die Reduzierung der Kontaktfläche durch verrundete Strukturen erzeugt werden. Bei polaren Kunststoffreibpaarungen sind höhere Flächenpressungen und damit geringere Reibwerte bei gleicher Normkraftbelastung durch die Reduzierung der Kontaktfläche bzw. durch Oberflächenstrukturen möglich.

Die Abbildung 9 zeigt die Struktur 1, bestehend aus parallel angeordneten, verrundeten, mikroskopischen Dreieckprofilen. Die Profile sind in einem bestimmten Abstand zueinander angeordnet, wodurch sich die theoretische Kontaktfläche gegenüber der projizierten Fläche auf 13% reduziert. Die Struktur 2, dargestellt in Abbildung 10, weist die gleiche Profilgeometrie auf. Hier sind jedoch die Profile ohne Abstand nebeneinander angeordnet. Mit Struktur 2 wird eine Verminderung der theoretischen Kontaktfläche auf 24% erreicht.

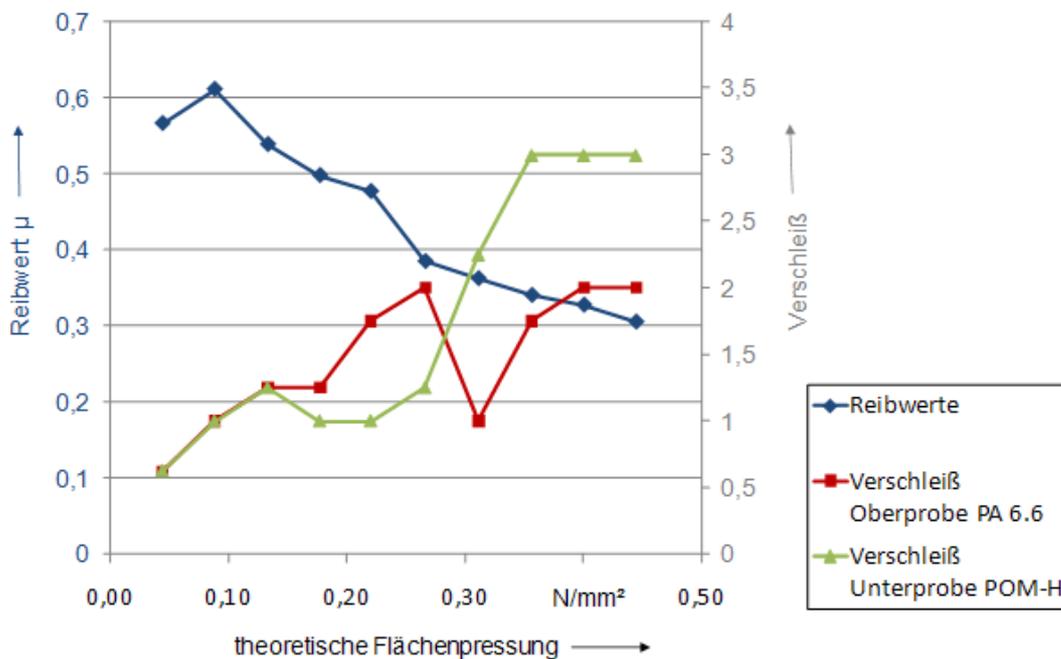


Diagramm 1: Reibungs- und Verschleißkennwerte der Reibpaarung PA 6.6 (Oberprobe) gegen POM-H (Unterprobe), in Abhängigkeit von der theoretischen Flächenpressung; per „Platte auf Platte“ - Prinzip getestet: theoretische Kontaktfläche=225mm², Hub=100mm, v=0,25m/s, t=24h; Kennwerte jeweils aus 4 Versuchen gemittelt

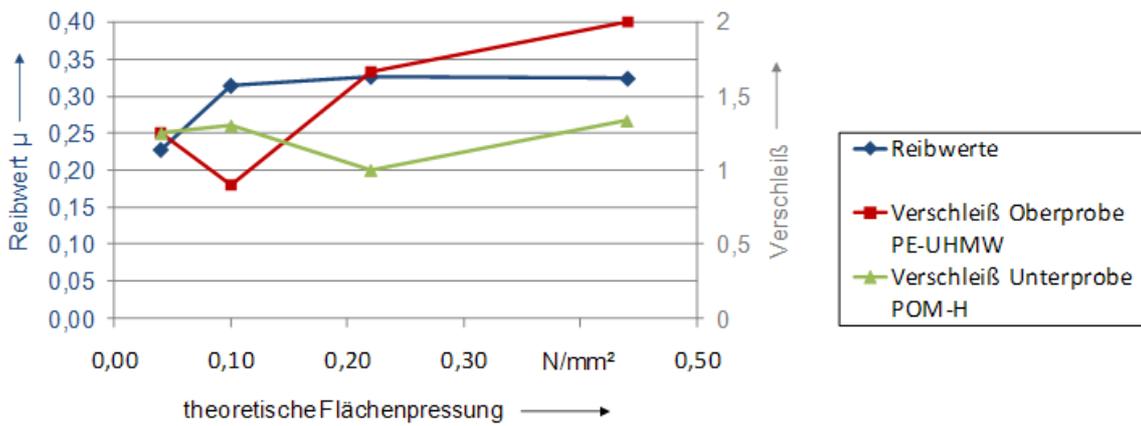


Diagramm 2: Reibungs- und Verschleißkennwerte der Reibpaarung PE-UHMW-antistatisch (Oberprobe) gegen POM-H (Unterprobe), in Abhängigkeit von der theoretischen Flächenpressung; per „Platte auf Platte“ - Prinzip getestet: theoretische Kontaktfläche=225mm², Hub=100mm, v=0,25m/s, t=24h; Kennwerte jeweils aus 4 Versuchen gemittelt

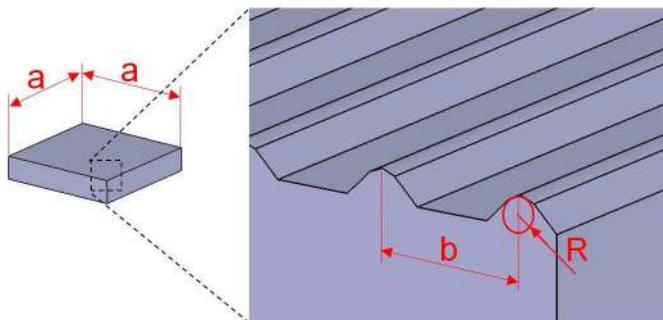


Abbildung 9: Oberprobe mit Struktur 1; Notation: a=15 mm; b... Abstand; R... Radius

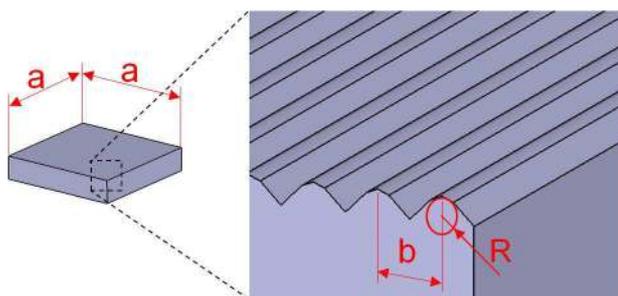


Abbildung 10: Oberprobe mit Struktur 2; Notation: a=15 mm; b... Abstand; R... Radius

Das Tribosystem Gleitkette-Gleitschiene wird in der Mehrzahl der Förderanlagen aus der Reibpaarung POM-H gegen PA 6.6 sowie der Reibpaarung POM-H gegen PE-UHMW-antistatisch gebildet. Daraus resultierte die Materialauswahl für die Tribotests. Die Proben mit strukturierter Oberfläche wurden aus POM-H spritzgegossen und anschließend gegenüber PE-UHMW-antistatisch und PA6.6 im Tribotest geprüft. Die strukturierten POM-H-Körper wurden ausschließlich als Oberproben getestet. Auch die Auswirkung der Profilorientierung zur Bewe

gungsrichtung wurde in den Varianten 0° und 90° im Tribotest ergründet. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Diagrammen dargestellt. Bei der Kombination der polaren Kunststoffe POM-H gegen PA 6.6 wird deutlich, dass beide Strukturen in der Orientierung 0° zur Bewegungsrichtung immense Verringerungen der Reibungs- und Verschleißkennwerte gegenüber der unprofilierten Referenzpaarung bewirken (Diagramm 3). Mit Struktur 1 ist sogar eine Reduzierung aller drei Kennwerte um 50% erreicht worden. Die Ergebnisse in Diagramm 3 zeigen, dass die Orientierung der Profile rechtwinklig zur Bewegungsrichtung eine drastische Verschlechterung des Reibverhaltens nach sich zieht. Dass die Struktur 1 mit der geringsten theoretischen Kontaktfläche, 0° zur Bewegungsrichtung orientiert, bei den polaren Reibpartnern POM-H gegen PA 6.6 eine Verbesserung des Reibverhaltens bewirkt, scheint aufgrund der Reduzierung der Adhäsion plausibel.

Im Diagramm 4 sind die Reibungs- und Verschleißkennwerte der strukturierten POM-H-Probekörper gegen glatte PE-UHMW-antistatisch-Proben dargestellt. Es wird deutlich, dass auch hier die Strukturen in der 0°-Orientierung enorme Verringerungen der tribologischen Eigenschaften gegenüber der glatten Referenzpaarung bewirken. Wie bei den Tests POM-H gegen PA 6.6 wird deutlich, dass mit der Struktur 1 in der 0°-Orientierung das beste Reibverhalten erzielbar ist. Eine Erklärung für dieses Verhalten ist jedoch schwierig. PE-UHMW-antistatisch ist ein unpolarer Kunststoff, demzufolge kann die Reibwertreduzierung bei einer Verminderung der Kontaktfläche nicht auf die Reduzierung des adhäsiven Reibanteils geschlossen werden. Theoretisch dürften bei dieser Gleitpaarung die deformativen Reibungsbedingungen gegenüber den adhäsiven stark dominieren. Das heißt, dass bei geringer Kontaktfläche bzw. höherer Flächenbelastung höhere deformative Bewegungswiderstände zu erwarten sind. Der Reibwert und der Verschleiß sollten demzufolge bei höheren Belastungen ansteigen. Die hier dargestellten Ergebnisse sowie Untersuchungen bei höheren Belastungen ( $F_N=70\text{N}$ ) zeigen jedoch das Gegenteil.

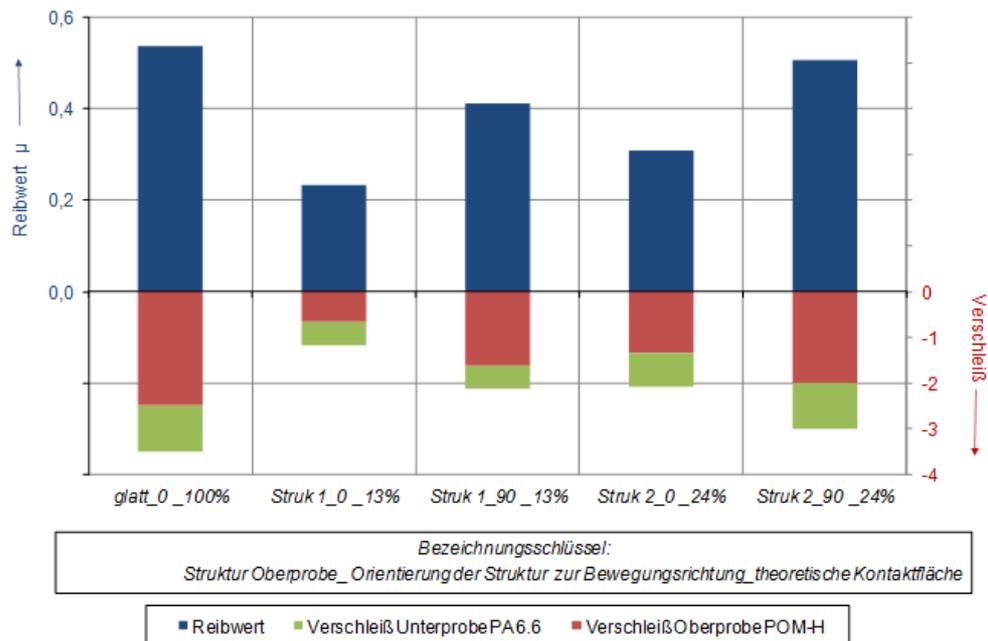


Diagramm 3: Reibungs- und Verschleißkennwerte der Reibpaarung POM-H (Oberprobe) gegen PA 6.6 (Unterprobe) in Abhängigkeit von der Oberflächenstruktur des POM-H; per „Platte auf Platte“ - Prinzip getestet: theoretische Kontaktfläche=225mm<sup>2</sup>, F<sub>N</sub>=50N, Hub=100mm, v=0,25m/s, t=24h; Kennwerte jeweils aus 4 Versuchen gemittelt

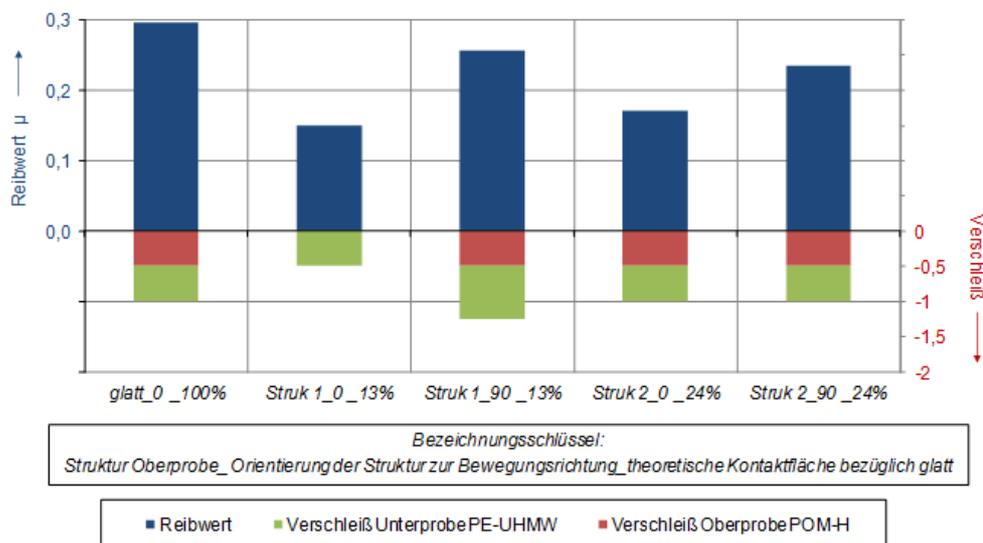


Diagramm 4: Reibungs- und Verschleißkennwerte der Reibpaarung POM-H (Oberprobe) gegen PE-UHMW (Unterprobe) in Abhängigkeit von der Oberflächenstruktur des POM-H; per „Platte auf Platte“ - Prinzip getestet: theoretische Kontaktfläche=225mm<sup>2</sup>, F<sub>N</sub>=50N, Hub=100mm, v=0,25m/s, t=24h; Kennwerte jeweils aus 4 Versuchen gemittelt

## Literatur

- [1] Auerbach, P.: Zur Beanspruchung und Lebensdauer raumgängiger Gleitketten aus Kunststoffen. Technische Universität Chemnitz, Dissertation 2006
- [2] Bosch Rexroth AG; Katalog „Kettenfördersysteme – VarioFlowS“; 2009; S. 2-2
- [3] Czichos, H.; Habig, K.-H.: Tribologiehandbuch. Auflage 3. 2010. Wiesbaden: Vieweg und Teubner Verlag
- [4] <http://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Delrin%C2%AE+500SC+NC010/DuPont+Engineering+Polymers/52/f9756610>
- [5] Ehrenstein, G. W. : Mit Kunststoffen konstruieren. Auflage 3. 2007. München: Carl Hanser Verlag
- [6] Erhard, G.: Konstruieren mit Kunststoffen. Auflage 4. 2008. München: Carl Hanser Verlag